

***BIASED RANDOM KEY GENETIC ALGORITHM DENGAN INSERTION  
DAN GENDER SELECTION UNTUK CAPACITATED VEHICLE  
ROUTING PROBLEM WITH TIME WINDOWS***



**PUBLIKASI ILMIAH**

**Disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan Program Studi Strata I pada Jurusan  
Teknik Industri Fakultas Teknik**

**Oleh:**

**AULIYA NOOR ROCHMAN**

**D 600 120 047**

**PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA  
2016**

HALAMAN PERSETUJUAN

***BIASED RANDOM KEY GENETIC ALGORITHM DENGAN INSERTION DAN  
GENDER SELECTION UNTUK CAPACITATED VEHICLE ROUTING  
PROBLEM WITH TIME WINDOWS***

**PUBLIKASI ILMIAH**

oleh:

**AULIYA NOOR ROCHMAN**

**D 600 120 047**

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji oleh:

Dosen Pembimbing



**Hari Prasetyo, S.T, M.T, Ph.D**

**NIK. 886**

HALAMAN PENGESAHAN

***BIASED RANDOM KEY GENETIC ALGORITHM DENGAN INSERTION DAN  
GENDER SELECTION UNTUK CAPACITATED VEHICLE ROUTING  
PROBLEM WITH TIME WINDOWS***

OLEH

**AULIYA NOOR ROCHMAN**

D 600 120 047

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji  
Fakultas Teknik  
Universitas Muhammadiyah Surakarta  
Pada hari Sabtu, 6 Agustus 2016  
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Dewan Penguji:

1. Hari Prasetyo, S.T, M.T, Ph.D  
(Ketua Dewan Penguji)
2. Hafidh Munawir, S.T, M.Eng  
(Anggota I Dewan Penguji)
3. Eko Setiawan, S.T, M.T, Ph.D  
(Anggota II Dewan Penguji)

  
(.....)

  
(.....)

  
(.....)

Dekan Fakultas Teknik UMS,



**Ir. Sri Sunarjono, M.T., Ph. D.**

NIK. 682

## PERNYATAAN

Dengan ini Saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan Saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila kelak terbukti ada ketidakbenaran dalam pernyataan Saya di atas, maka akan Saya pertanggungjawabkan sepenuhnya.

Surakarta, <sup>10 Agustus</sup>..... 2016

Penulis

  
**AULIYA NOOR ROCHMAN**  
D 600 120 047

# **BIASED RANDOM KEY GENETIC ALGORITHM DENGAN INSERTION DAN GENDER SELECTION UNTUK CAPACITATED VEHICLE ROUTING PROBLEM WITH TIME WINDOWS**

## **Abstrak**

*Vehicle Routing Problem* (VRP) merupakan kasus yang sering dijumpai dalam dunia industri terutama pada perusahaan yang harus mengirimkan produknya ke beberapa tujuan atau pelanggan. Pada prakteknya, proses pendistribusian produk ini dibatasi oleh kendala kapasitas kendaraan maupun waktu pengiriman. VRP yang mengakomodasi kedua kendala tersebut dinamakan *Capacitated Vehicle Routing Problem with Time Windows* (CVRPTW). Karena CVRPTW merupakan permasalahan *Non Polynomial Hard* (NP-HardProblem) maka perancangan algoritma pencarian solusi optimal yang efektif dan efisien menjadi salah satu tantangan terbesar yang harus diselesaikan. Pada penelitian ini, *Biased Random Key Genetic Algorithm* (BRKGA) dirancang dan dikodekan dalam MATLAB untuk menyelesaikan kasus CVRPTW pada pendistribusian minuman bersoda. BRKGA standar kemudian dilakukan modifikasi berupa perlakuan *individual insertion* pada populasi awal dan penerapan *gender selection* pada proses *crossover*. Unjuk kerja dari algoritma-algoritma tersebut kemudian dibandingkan dengan metode Heuristik dalam menyelesaikan kasus pendistribusian minuman bersoda. Pada penelitian ini dihasilkan beberapa hal, (1) total biaya distribusi yang dihasilkan dari rute yang terbentuk dengan menggunakan BRKGA *individualInsertion* mampu menghasilkan penghematan sebesar 39% dibandingkan dengan hasil yang diperoleh dengan menggunakan metode Heuristik, (2) modifikasi BRKGA dengan *gender selection* mampu memperbaiki hasil yang dicapai dengan metode Heuristik, namun hasil dari strategi *gender selection* cenderung memiliki biaya distribusi yang lebih tinggi dibandingkan dengan hasil yang diperoleh dengan BRKGA standar.

Kata kunci: BRKGA, CVRPTW, *routing problem*, pendistribusian produk.

## **Abstracts**

Vehicle Routing Problem (VRP) is often found in industrial practices particularly when the manufacturer has to ship their product to a number of customers/outlets. In reality, the distribution process is typically restricted by the capacity of the truck and the working hours at the distributor. This type of VRP is also known as Capacitated Vehicle Routing Problem with Time Windows (CVRPTW). This CVRPTW is a Non Polynomial hard problem, thus designing an efficient and effective algorithm to find the optimal solution is one of the main challenging task. In this research, a Biased Random Key Genetic Algorithm (BRKGA) designed and coded in MATLAB to solve the CVRPTW for the case of distributing soft drink. The standard BRKGA is then modified by applying chromosome insertion into the initial population and defining chromosome gender for parent undergoing crossover operation. The performance of the established algorithms are then compared to a heuristic procedure for solving a soft drink distribution. In this research, some findings are revealed (1) in terms of the total distribution cost BRKGA with insertion returns a cost saving of 39% compared to that of from the heuristics, (2) BRKGA with selection gender selection could further improve the performance of the standard BRKGA, but BRKGA with gender selection tends to yield worse results compared to that of obtained from the standard BRKGA

Keyword: BRKGA, CVRPTW, *routing problem*, product distribution.

## 1. PENDAHULUAN

Di dalam dunia industri, banyak perusahaan yang harus mengirimkan produknya ke beberapa konsumen. Seperti pada perusahaan minuman bersoda, perusahaan pos negara, perusahaan air galon mineral, dan perusahaan distributor gas LPG. Penentuan rute yang efisien menjadi salah satu permasalahan yang sering terjadi. Kendaraan harus mengantar dan/menjemput barang/orang ke sejumlah tempat dengan syarat setiap tujuan hanya dapat dikunjungi satu kali oleh setiap kendaraan. Permasalahan tersebut sering disebut sebagai *Vehicle routing Problem* (VRP). VRP menjadi permasalahan yang serius dan penting karena menyangkut biaya distribusi, semakin efisien rute yang terbentuk maka akan semakin menekan biaya distribusi yang digunakan.

VRP telah banyak diangkat sebagai topik pada penelitian-penelitian sebelumnya. Varian VRP yang banyak diteliti adalah *Capacitated Vehicle Routing Problem* (CVRP) dimana barang atau produk yang diangkut tidak boleh melebihi kapasitas kendaraan yang tersedia dan *Vehicle Routing Problem with Time Windows* (VRPTW) dimana kendaraan mempunyai kendalan berupa waktu pengiriman. Penelitian yang telah dilakukan sebagian besar masih menggunakan metode seperti *Genetic Algorithm* yang digunakan pada penelitian Luthfi *et al* (2015) untuk kasus CVRP dan Putri *et al* (2015) untuk kasus VRPTW, *Simulated Annealing* pada penelitian Lukitasary *et al* (2011) untuk kasus CVRPTW, dan *Harmony search* pada penelitian Lydia *et al* (2011) untuk kasus CVRPTW. Pada penelitian Faiz (2010) mengenai pendistribusian koran bahkan masih menggunakan Metode *Saving Matrix*. Penyelesaian kasus VRP dengan beberapa metode tersebut masih terdapat beberapa kekurangan yaitu solusi eksak terhadap permasalahan VRP sangat sulit untuk didapatkan bahkan membutuhkan waktu yang lama. Hal tersebut dikarenakan VRP merupakan permasalahan *non-deterministic polynomial hard* (NP-Hard) *Problem*.

Pada penelitian Cahyaningsih *et al* (2015) di sebuah perusahaan surat kabar, CVRP diselesaikan menggunakan algoritma *Sweep* yang terdiri dari dua tahapan yaitu *clustering* dan pembentukan rute dengan metode *Nearest Neighbour*. Penelitian Hutasoit *et al* (2014) mengenai penentuan rute distribusi es balok, kasus CVRP juga diselesaikan menggunakan metode *Nearest Neighbour* yang dikembangkan dengan perbaikan *Local Search*. Metode *Nearest Neighbour* merupakan salah satu metode Heuristik dimana metode tersebut dapat menghasilkan solusi dengan waktu yang relatif lebih cepat akan tetapi solusi yang dihasilkan belum tentu merupakan solusi yang mendekati optimal atau solusi terbaik. Pada penelitian Mukhsinin *et al* (2013), metode *Nearest Neighbour* dan *Local Search* juga digunakan untuk menyelesaikan kasus VRPTW. Selain metode Heuristik, metode eksak seperti *Branch and Bound* bahkan masih digunakan untuk menyelesaikan kasus CVRP. Metode eksak memang dikenal dapat menghasilkan solusi eksak tetapi memiliki kekurangan yaitu membutuhkan waktu komputasi yang sangat lama. Arunanto & Hintono (2011) menggunakan metode *Paralel Branch and Bound* untuk menyelesaikan CVPR. Pada penelitian Arunanto & Hintono (2011), *Branch and Bound* dijalankan dengan bantuan *Message Passing Interface* (MPICH) dan *GNU Linear Programming Kit* (GLPK) yang merupakan perangkat lunak yang digunakan untuk mendukung proses paralel *Branch and Bound*. Penelitian Arunanto & Hintono (2011) menjadi tidak efisien karena menggunakan beberapa komputer yang harus dijalankan secara bersamaan (paralel).

Pada penelitian Sembiring (2008) di salah satu perusahaan minuman bersoda di Kota Medan, kasus VRP yang diselesaikan merupakan kasus VRP dengan dua kendala sekaligus yaitu kapasitas

kendaraan dan rentang waktu atau disebut sebagai *Capacitated Vehicle Routing Problem with Time Windows* (CVRPTW). Pada penelitian Sembiring (2008), CVRPTW diselesaikan menggunakan Metode Algoritma Heuristik. Selain metode Heuristik tersebut, kasus-kasus seperti VRP dan variannya termasuk CVRPTW banyak diselesaikan dengan metode Metaheuristik yang dipilih karena dapat menghasilkan alternatif solusi yang lebih optimal dengan waktu yang lebih cepat. Misalnya, metode Metaheuristik seperti *Ant Colony Optimization* (ACO) dan *Artificial Bee Colony* (ABC). Algoritma ACO telah digunakan dalam penelitian Maryati & Wibowo (2012) sedangkan Algoritma ABC digunakan pada penelitian Alam (2013), kedua metode tersebut dirancang untuk menyelesaikan kasus yang sama yaitu CVRP dan menunjukkan hasil yang signifikan. Oleh karena itu, pada penelitian ini dirancang salah satu dari metode Metaheuristik lainnya yaitu *Biased Random Key Genetic Algorithm* (BRKGA) untuk menyelesaikan kasus CVRPTW pada penelitian Sembiring (2008). Implementasi metode BRKGA sudah ada pada penelitian sebelumnya, yaitu pada penelitian yang dilakukan oleh Grasas *et al* (2014) terkait penentuan rute pengumpulan darah, akan tetapi pada penelitian Grasas *et al* (2014) kasus VRP yang diselesaikan merupakan kasus VRP dengan rute terbuka atau *Capacitated Open Vehicle Routing Problem* (COVRP) dimana kendaraan yang dipakai memulai perjalanan dititik tertentu (bukan dari depot) dan berakhir di satu titik tujuan. Berbeda dengan penelitian Grasas *et al* (2014), pada penelitian ini BRKGA dirancang dengan *individual insertion* dan modifikasi *gender selection*.

## 2. METODE

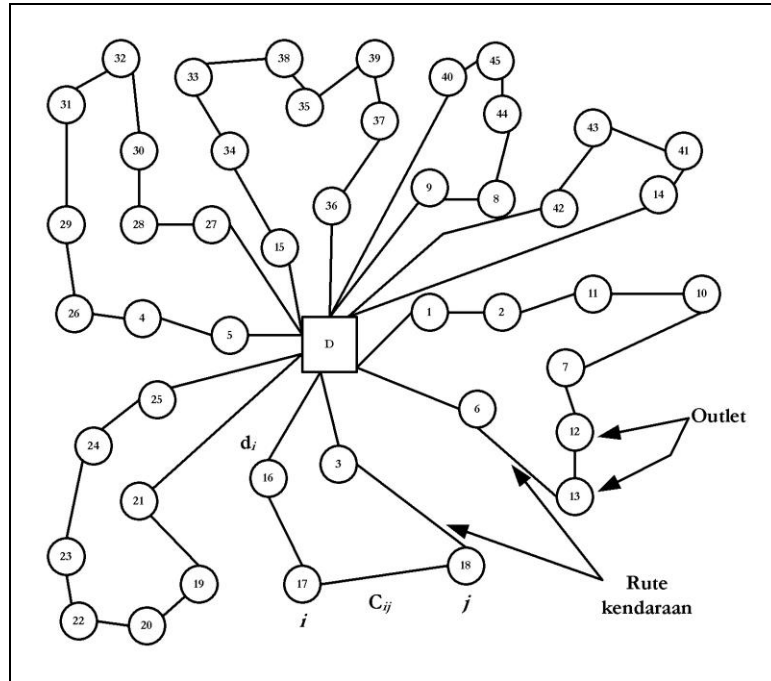
### 2.1 Permasalahan, Notasi dan Asumsi

Pada penelitian Sembiring (2008), perusahaan minuman bersoda yang memiliki satu depot harus mengirimkan produknya ke 45 outlet yang tersebar secara geografis. Pengiriman dilakukan dengan menggunakan sebuah truk berkapasitas 130 krat dan pengiriman tidak boleh melebihi waktu yang sudah ditentukan dalam satu hari yaitu 480 menit/hari. Permasalahannya adalah bagaimana membuat satu set rute yang optimal untuk mengirimkan produk minuman bersoda dengan batasan kapasitas kendaraan dan waktu pengiriman sehingga meminimalkan total biaya distribusi yang digunakan. Permasalahan CVRPTW pada penelitian Sembiring (2008) dapat dilihat lebih jelas pada Gambar 1.

Notasi yang digunakan berdasarkan karakteristik permasalahan pada pendistribusian minuman bersoda adalah sebagai berikut:

$N$	: Jumlah titik/node
$S$	: Jumlah sub rute yang terbentuk
$r_l$	: Sub rute ke- $l$ ; $l = 1, 2, 3, \dots, S$
$n_l$	: Jumlah outlet dalam sub rute $l$ ; $l = 1, 2, 3, \dots, S$
$i$	: Indeks lokasi; <i>node</i> asal; ketika $i = 1, 2, 3, \dots, n_l + 1$ atau $N + 1$ adalah outlet; $n_l + 1$ atau $N + 1$ adalah depot
$j$	: Indeks lokasi; <i>node</i> tujuan; $j = 1, 2, 3, \dots, n_l + 1$ atau $N + 1$ adalah outlet; $n_l + 1$ atau $N + 1$ adalah depot
$D$	: Depot
$X_{ij}$	: 1 ketika kendaraan melakukan perjalanan dari <i>node</i> asal $i$ menuju <i>node</i> tujuan $j$ , 0 ketika tidak
$C_{ij}$	: Ongkos untuk melewati rute $ij$

- $W$  : Kapasitas kendaraan  $k$   
 $d_i$  : Permintaan *customer* pada titik  $i$   
 $p$  : Waktu setup kendaraan  
 $Y_{ij}$  : 1 ketika  $i = n_t+1$ , 0 ketika  $i \neq n_t+1$   
 $q_i$  : Waktu pelayanan dan waktu *loading/unloading*  
 $t_{ij}$  : Waktu perjalanan dari outlet  $i$  ke  $j$   
 $a$  : *Allowance* distribusi  
 $T$  : Total waktu pengiriman maksimal



Gambar 1. Visualisasi *output* VRP

Data yang diperlukan untuk menyelesaikan permasalahan CVRPTW pada pendistribusian minuman bersoda adalah sebagai berikut: (1) lokasi setiap outlet dan depot, (2) jarak dan waktu perjalanan antar semua outlet dan depot yang diperoleh dengan menggunakan Google Maps, (3) data waktu berupa waktu *set up* kendaraan, waktu *loading* dan waktu *unloading*, (4) rata-rata waktu pelayanan pada setiap outlet untuk menaik serta menurunkan produk dan pencatatan produk (19 menit), (5) kapasitas kendaraan yang digunakan (130 krat), (6) data permintaan produk setiap outlet, dan (7) kendala waktu pengirimanyaitu 480 menit dalam sehari.

Kasus CVRPTW pada penelitian ini dapat digambarkan sebagai permasalahan optimisasi. Fungsi tujuan pada penelitian ini adalah meminimalkan total biaya distribusi berdasarkan rute yang terbentuk, sehingga dapat dirumuskan fungsi tujuan seperti pada persamaan 1. Persamaan 2 merupakan jumlah sub rute yang harus dibentuk berdasarkan jumlah permintaan produk pada keseluruhan outlet dan kapasitas kendaraan yang digunakan.

$$\text{Min } Z = \sum_{i=1}^{N+1} \sum_{j \neq i}^{N+1} C_{ij} X_{ij} \quad (1)$$



$$s = \left\lceil \frac{\sum_{i=1}^N d_i}{W} \right\rceil \quad (2)$$

Penelitian ini memiliki beberapa kendala yaitu kendala berupa kapasitas kendaraan yang dipakai dan kendala waktu pengiriman. Persamaan 3 merupakan model matematika dari kendala berupa kapasitas kendaraan. Permintaan total dari sub rute yang terbentuk tidak boleh melebihi kapasitas kendaraan yang digunakan yaitu 130 krat.

$$\sum_{i=1}^{n_l+1} \sum_{j \neq i}^{n_l+1} d_i X_{ij} \leq W; \forall r_l; l = 1, 2, 3, \dots, S \quad (3)$$

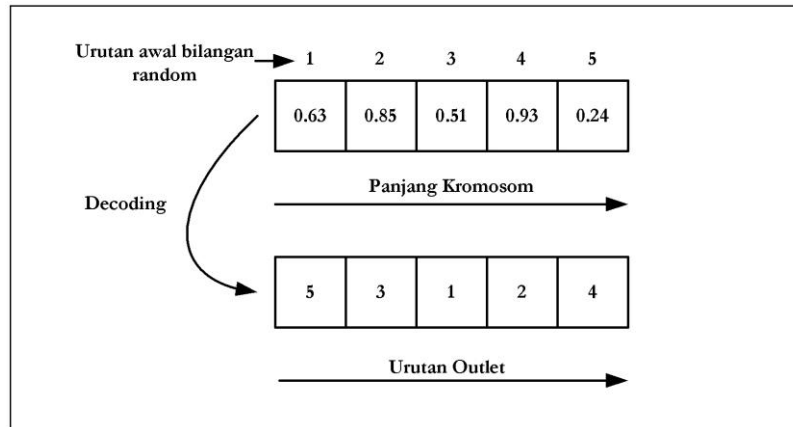
Kendala waktu pengiriman juga dimodelkan dengan persamaan matematika seperti pada persamaan 4 dimana total waktu pengiriman berupa *set up* kendaraan, waktu pelayanan dan waktu *loading/unloading*, waktu perjalanan dari outlet ke outlet yang terbentuk dan *allowance* yang diberikan harus kurang dari batasan waktu yang ada di perusahaan yaitu 480 menit/hari.

$$\left( \sum_{i=1}^{n_l+1} \sum_{j \neq i}^{n_l+1} (q_i + t_{ij}) X_{ij} + p X_{ij} Y_{ij} \right) (1 + a) \leq T; \forall r_l; l = 1, 2, 3, \dots, S \quad (4)$$

Penelitian ini menggunakan beberapa asumsi. Pendistribusian produk minuman bersoda dilakukan menggunakan satu kendaraan truk berkapasitas 130 krat. Dalam sehari, kendaraan tersebut mengirimkan produk berdasarkan satu sub rute yang terbentuk. Permintaan dari setiap outlet sudah diketahui sebelum produk dikirimkan dan sifatnya konstan. Kendaraan hanya dapat mengunjungi outlet satu kali dalam satu rute. Kecepatan rata-rata kendaraan yang digunakan dalam pendistribusian produk minuman bersoda adalah 35 km/jam. Pada penelitian ini di asumsikan jam kerja perusahaan sama untuk setiap harinya yaitu 480 menit. Waktu *set up* kendaraan untuk sekali pengiriman di asumsikan 15 menit dan waktu pelayanan pada setiap outlet sama yaitu 19 menit.

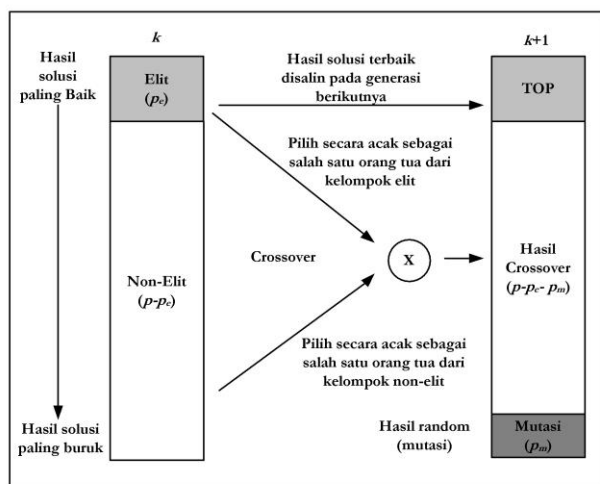
## 2.2 Pendekatan Solusi

BRKGA yang merupakan varian dari *Random Key Genetic Algorithm* RKGA diperkenalkan pada penelitian Bean (1994). Diusulkan pertama kali pada penelitian Ericsson & Pardalos (2001) serta penelitian Goncalves & Almeida (2002). Salah satu keunggulan dari Metode BRKGA adalah fleksibilitas pada saat merepresentasikan berbagai permasalahan dengan menggunakan bilangan *random* (0-1) yang mengarahkan algoritma menjadi masalah yang independen (Gonçalves & Resende, 2011; Prasetyo *et al.*, 2015).

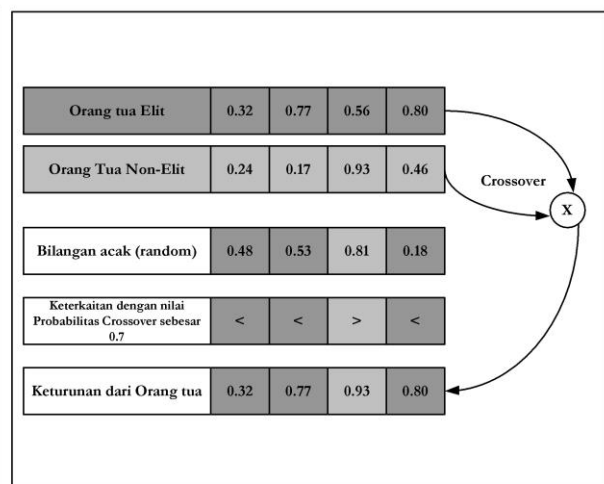


Gambar 2. Pembangkitan bilangan random (0-1) dan proses *decoding*

BRKGA melibatkan populasi yang terdiri dari  $P$  yang merupakan bilangan kunci acak yang nantinya berkembang dari generasi ke generasi berikutnya (Prasetyo *et al.*, 2015). Gambar 2 merupakan proses pembangkitan bilangan random (0-1) kunci acak dan proses *decoding*, dimana dicontohkan ada 5 bilangan random dibangkitkan yang menunjukkan berapa banyak gen yang ada pada satu kromosom atau dapat disebut sebagai panjang kromosom. Pada penelitian ini, bilangan random tersebut merepresentasikan urutan outlet. Proses *decoding* merupakan proses penerjemahan bilangan random menjadi urutan outlet, yang mana bilangan random diurutkan dari yang terkecil hingga terbesar (0.24 – 0.51 – 0.63 – 0.85 – 0.93) kemudian urutan awal bilangan random (1 – 2 – 3 – 4 – 5) diubah menjadi urutan outlet (5 – 3 – 1 – 2 – 4) berdasarkan bilangan random dari yang terkecil hingga terbesar. Setelah populasi awal sejumlah  $P$  dibangkitkan dan diterjemahkan menjadi urutan outlet, langkah selanjutnya dari BRKGA adalah menghitung nilai *fitness* dari setiap kromosom yang ada. Urutan outlet yang ada kemudian di pecah menjadi beberapa sub rute berdasarkan kendala kapasitas dan waktu pengiriman. Selanjutnya, biaya distribusi dihitung dari biaya sub rute pertama hingga sub rute ke- $n$  sehingga nilai *fitness* dari masing-masing kromosom sejumlah  $P$  dapat diketahui.



Gambar 3. Proses transisi BRKGA standar dari generasi  $k$  ke generasi  $k + 1$



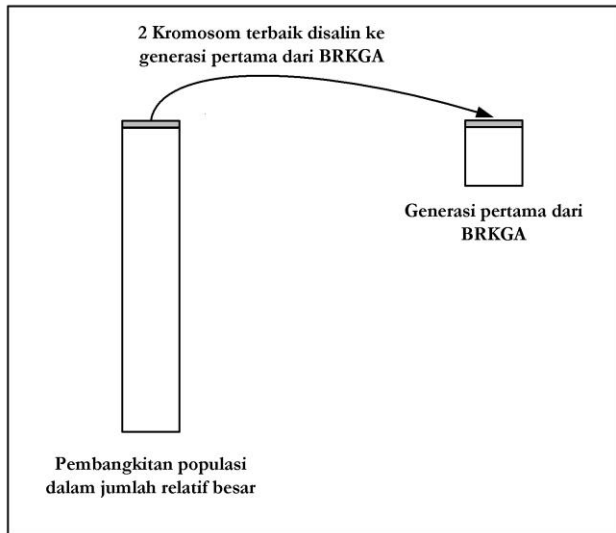
Gambar 4. Mekanisme *crossover*

Pada Gambar. 3 generasi ke-  $k$ , kromosom dikategorikan sebagai solusi elit ( $p_e$ ) dan solusi non-elit ( $p-p_e$ ) dimana solusi elit merupakan kromosom dengan nilai *fitness* terbaik atau biaya distribusi yang terendah. Populasi pada generasi berikutnya ( $k+1$ ) adalah hasil dari salinan solusi elit ( $p_e$ ), hasil dari mutasi secara acak ( $p_m$ ) dan sisanya ( $p-p_e-p_m$ ) merupakan hasil dari *crossover* dua kromosom yang dipilih secara acak dari elit dan non-elit. Pada BRKGA mutasi dilakukan untuk menghindari munculnya solusi yang terlalu cepat sedangkan solusi yang dihasilkan tersebut belum merupakan solusi yang paling optimal. Pada proses *crossover*,  $\rho$  merupakan besarnya probabilitas yang digunakan untuk menghasilkan keturunan dari orang tua elit (Prasetyo *et al.*, 2015). Mekanisme *crossover* pada BRKGA dapat dilihat pada Gambar 4 dimana nilai  $\rho$  sebesar 0.7 dapat diartikan keturunan yang akan mewarisi gen orang tua elit memiliki peluang sebesar 0.7 dan sisa 0.3 merupakan peluang untuk menghasilkan keturunan dari orang tua non-elit. Hal tersebut memungkinkan bahwa generasi berikutnya akan menghasilkan solusi elit yang lebih baik dari solusi elit sebelumnya. Mekanisme *crossover* pada Gambar 4, dua orang tua dipilih dari kromosom elit dan non-elit secara acak. Bilangan random dengan panjang kromosom yang sama dengan panjang kromosom orang tua dibangkitkan sebagai bilangan yang akan mengodekan pemilihan gen orang tua elit maupun non-elit. Ketika nilai bilangan random yang dibangkitkan kurang dari nilai probabilitas *crossover* ( $\rho$ ) sebesar 0.7 maka gen diambil dari orang tua elit begitupun sebaliknya.

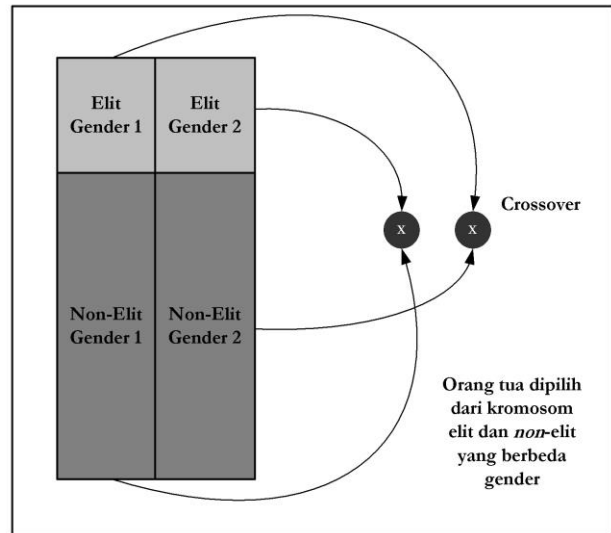
Pada penelitian ini, proses *individual insertion* akan digunakan untuk memperbaiki BRKGA yang sudah ada dimana populasi dalam jumlah relatif besar dibangkitkan, kemudian 2 kromosom terbaik dari populasi tersebut dipilih untuk menjadi bagian dari populasi generasi yang pertama dari BRKGA. Populasi dengan ukuran 10.000 individu kromosom akan dibangkitkan untuk proses *individual insertion*, artinya dari 10.000 calon solusi tersebut akan dipilih 2 kromosom dengan hasil *fitness* terbaik. Proses pada BRKGA dengan *individual insertion* dapat dilihat pada Gambar 5. *Insertion* hanya dilakukan di awal pembentukan generasi pertama pada BRKGA, prosedur yang selanjutnya mengikuti BRKGA standar.

Pada penelitian ini juga akan dilakukan modifikasi gender pada BRKGA atau dinamakan sebagai *Gender Selection Biased Random Key Genetic Algorithm* (BRKGA-GS), dimana nilai kromosom didefinisikan sebagai sebuah gender. Modifikasi yang sama juga pernah dilakukan pada penelitian Lucena *et al* (2014). Tahap *crossover* pada modifikasi *gender selection* dilakukan dengan sedikit berbeda seperti pada Gambar 6, dua kromosom yang berbeda gender (gender 1 dan gender 2) dipilih dari kromosom elit dan non-elit kemudian prosedur selanjutnya mengikuti langkah yang sama dari BRKGA standar. Pengelompokan gender pada penelitian ini dilakukan dengan beberapa cara yaitu *K-Means Clustering*, *K-Means Clustering* dengan mutasi dan pengelompokan gender berdasarkan urutan ganjil-genap. Penentuan gender dengan *K-Means Clustering* dilakukan dengan bantuan program Matlab. Pada modifikasi *K-means Clustering* dengan mutasi, proses mutasi yang dilakukan sedikit berbeda dengan BRKGA standar yaitu pada iterasi ke 200 dan kelipatannya mutan dimasukkan dalam jumlah besar sejumlah  $P-p_e$  dengan harapan proses *clustering* dengan *K-means Clustering* tidak terhambat dikarenakan semakin iterasi bertambah populasi cenderung mengalami keseragaman yang mengakibatkan proses *clustering* tidak berjalan. Pada penentuan gender berdasarkan urutan ganjil-genap, kromosom dengan urutan ganjil dianggap sebagai kromosom dengan gender 1 dan kromosom dengan urutan genap merupakan kromosom bergender 2. Setelah program BRKGA dirancang, program tersebut akan diimplementasikan pada penelitian Sembiring (2008) dan akan dikomparasikan dengan metode Heuristik yang sudah diterapkan sebelumnya di penelitian

Sembiring (2008) untuk mengetahui seberapa jauh performansi dari program BRKGA dengan *individual insertion* maupun *Gender selection* BRKGA.



Gambar 5. Mekanisme *individualinsertion*



Gambar 6. Mekanisme pemilihan orangtua dari BRKGA-GS

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Pengaturan Parameter BRKGA

Program BRKGA telah dikodingkan dengan aplikasi Matlab dengan versi 7.11.0.584 (R2010b), 64-bit (win64) dan dijalankan pada notebook dengan spesifikasi Intel® Core™ i5-2450M @ 2.50GHz dan memiliki kapasitas RAM sebesar 4 GB. Pada penelitian Gonçalves & Resende (2011), merekomendasikan *parameter setting* untuk BRKGA seperti pada Tabel 1 Rekomendasi parameter pada BRKGA. Kolom (a) pada Tabel 1 merupakan parameter yang perlu diatur pada BRKGA yaitu ukuran populasi ( $P$ ), ukuran populasi elit ( $p_e$ ), ukuran populasi mutasi ( $p_m$ ), dan probabilitas elit pada *crossover* ( $\rho_e$ ). Ukuran populasi yang di rekomendasikan  $P=ax$  dimana  $a$  merupakan bilangan real yang lebih besar atau sama dengan 1 dan  $x$  merupakan panjang dari kromosom.

Tabel 1. Rekomendasi parameter pada BRKGA (Gonçalves & Resende, 2011)

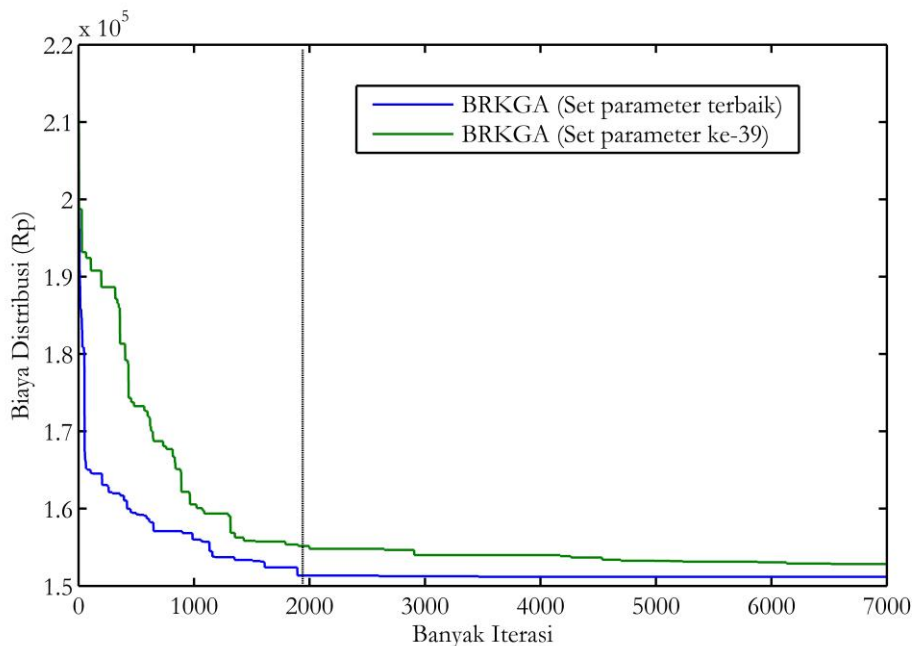
(a) Parameter	(b) Description	(c) Recommended value
$P$	size of population	$p = ax$ , where $1 \leq a \in \mathbb{R}$ is a constant and $x$ is the length of the chromosome
$p_e$	size of elite population	$0.10p \leq p_e \leq 0.25p$
$p_m$	size of mutant population	$0.10p \leq p_m \leq 0.30p$
$\rho_e$	elite allele inheritance probability	$0.5 \leq \rho_e \leq 0.8$

Penentuan parameter terbaik dilakukan dengan menguji beberapa kombinasi parameter. Kombinasi parameter yang digunakan berjumlah 48 kombinasi seperti pada Tabel 2. Kombinasi parameter sejumlah 48 dibuat berdasarkan rekomendasi parameter. Ukuran populasi pada penelitian ini dibuat konstan pada setiap kombinasinya yaitu 45. Pengaturan parameter dilakukan dengan

mengambil sampel sebanyak 50 kali dari setiap kombinasi dengan 700 iterasi. Hasil dari pengujian terhadap 48 kombinasi parameter tersebut diperoleh parameter *setting* terbaik sebagai berikut:  $P=45$ ;  $p_e=0.1$ ;  $p_m=0.3$ ; dan  $\rho_e=0.8$  dengan rata-rata biaya distribusi sebesar Rp159.053,00 dan standar deviasi sebesar Rp3839,00 yang dapat dilihat pada Tabel 2 kombinasi *setting* parameter dan hasil rata-rata.

Tabel 2. Kombinasi pengaturan parameter dan hasil rata-rata

Kombi-nasi	Parameter				Rata-rata (Rp)	Standar Deviasi (Rp)	Kombi-nasi	Parameter				Rata-rata (Rp)	Standar Deviasi (Rp)
	$P$	$p_e$	$p_m$	$\rho_e$				$P$	$p_e$	$p_m$	$\rho_e$		
1	45	0.1	0.1	0.5	161947	3768	25	45	0.2	0.1	0.5	159647	3777
2	45	0.1	0.2	0.5	160387	4044	26	45	0.2	0.2	0.5	159939	3500
3	45	0.1	0.3	0.5	162563	4888	27	45	0.2	0.3	0.5	163467	4517
4	45	0.1	0.1	0.6	161226	4274	28	45	0.2	0.1	0.6	161055	4710
5	45	0.1	0.2	0.6	159793	4385	29	45	0.2	0.2	0.6	159124	4158
6	45	0.1	0.3	0.6	160653	3823	30	45	0.2	0.3	0.6	161810	3340
7	45	0.1	0.1	0.7	161343	3863	31	45	0.2	0.1	0.7	161729	4250
8	45	0.1	0.2	0.7	160843	4873	32	45	0.2	0.2	0.7	159933	4314
9	45	0.1	0.3	0.7	160280	5012	33	45	0.2	0.3	0.7	160221	3410
10	45	0.1	0.1	0.8	161546	4200	34	45	0.2	0.1	0.8	162222	3700
11	45	0.1	0.2	0.8	160491	3772	35	45	0.2	0.2	0.8	160238	5096
12	45	0.1	0.3	0.8	159053	3839	36	45	0.2	0.3	0.8	160342	4366
13	45	0.15	0.1	0.5	160636	3995	37	45	0.25	0.1	0.5	160017	3836
14	45	0.15	0.2	0.5	160958	3858	38	45	0.25	0.2	0.5	159893	4566
15	45	0.15	0.3	0.5	162266	3745	39	45	0.25	0.3	0.5	165584	4827
16	45	0.15	0.1	0.6	161203	3189	40	45	0.25	0.1	0.6	160452	3897
17	45	0.15	0.2	0.6	159727	4578	41	45	0.25	0.2	0.6	160575	3776
18	45	0.15	0.3	0.6	161210	3394	42	45	0.25	0.3	0.6	161939	3822
19	45	0.15	0.1	0.7	160326	3961	43	45	0.25	0.1	0.7	161220	4257
20	45	0.15	0.2	0.7	159246	3358	44	45	0.25	0.2	0.7	160724	3756
21	45	0.15	0.3	0.7	160510	4070	45	45	0.25	0.3	0.7	160786	4553
22	45	0.15	0.1	0.8	160962	4187	46	45	0.25	0.1	0.8	161427	4074
23	45	0.15	0.2	0.8	160252	4743	47	45	0.25	0.2	0.8	159792	4138
24	45	0.15	0.3	0.8	159912	4668	48	45	0.25	0.3	0.8	160593	3492

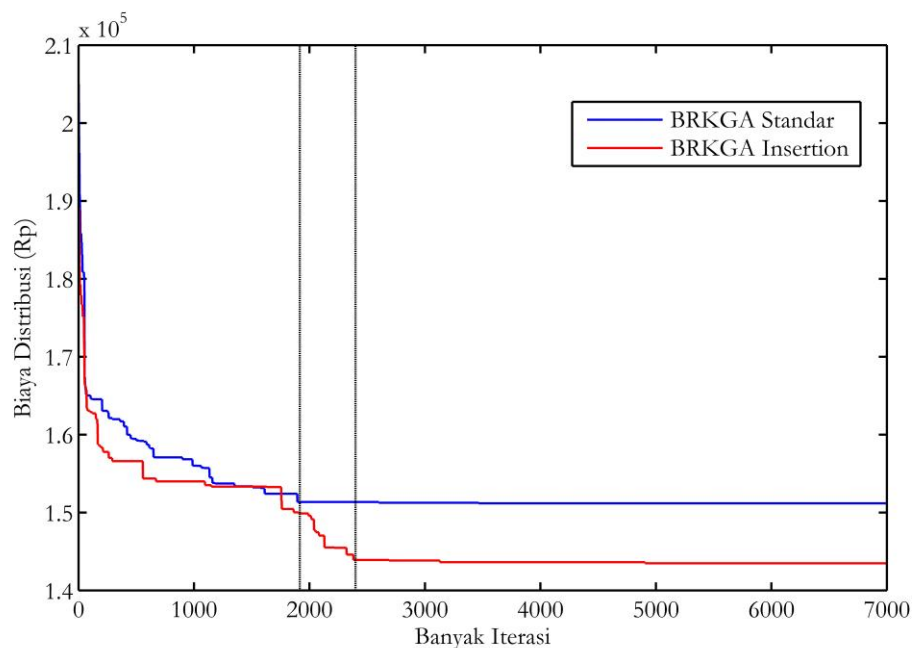


Gambar 7. Grafik BRKGA standar

Program BRKGA standar mulai menunjukkan konvergen pada iterasi 1895 yang dapat dilihat pada Gambar 7 Grafik BRKGA standar. Pada Gambar 7, BRKGA dengan pengaturan parameter terbaik mengalami penurunan biaya distribusi yang signifikan pada iterasi awal dari biaya distribusi Rp200.000,00 hingga Rp165.000,00. Berbeda dengan BRKGA dengan pengaturan parameter ke-39, biaya distribusi mengalami penurunan tidak terlalu signifikan dan dibutuhkan sekitar 800 iterasi untuk mencapai biaya distribusi sebesar Rp165.000,00. Pada BRKGA yang tidak menggunakan pengaturan parameter terbaik, biaya distribusi terus mengalami penurunan secara tidak stabil pada iterasi ke-3000 hingga iterasi terakhir sehingga masih memungkinkan biaya distribusi mengalami penurunan apabila iterasi ditambahkan, akan tetapi pada BRKGA dengan pengaturan parameter terbaik sudah menunjukkan konvergen pada iterasi ke-3000 yang artinya biaya distribusi sudah tidak mengalami penurunan atau sudah mendapatkan solusi yang paling optimal dari program BRKGA. Hal tersebut membuktikan bahwa pengaturan parameter sangat berpengaruh terhadap solusi yang dihasilkan dari program BRKGA.

### 3.2 Unjuk Kerja BRKGA

Rata-rata hasil biaya distribusi yang didapat dari program BRKGA standar dengan 50 kali percobaan dan 1000 kali iterasi adalah sebesar Rp155.767,00. Setelah program diperbaiki dengan menggunakan *individualinsertion* menghasilkan rata-rata sebesar Rp154.671,00 atau menurun 0.7% dari BRKGA standar. Program BRKGA dengan *individualinsertion* juga dijalankan dengan 7000 iterasi dan menghasilkan biaya minimum sebesar Rp143.600,00. Program BRKGA dengan *individualinsertion* menuju konvergen pada iterasi ke- 2380. Perbandingan grafik antara BRKGA standar dan BRKGA dengan *individualinsertion* dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. BRKGA standar dan BRKGA dengan *individualinsertion*

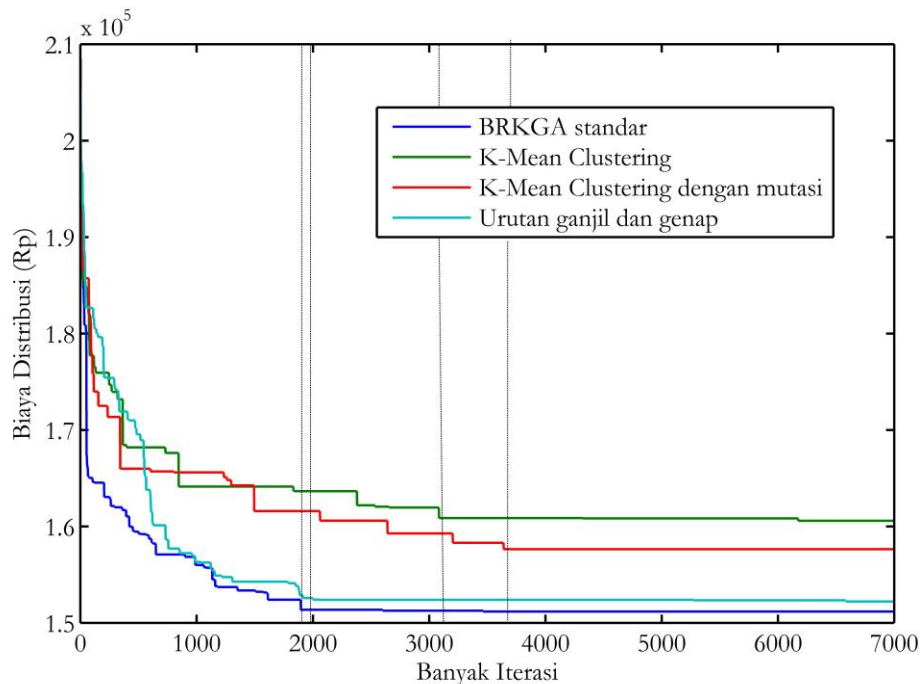
Pada Gambar 8, menunjukkan bahwa BRKGA dengan *individualinsertion* lebih baik dari BRKGA standar. Pada iterasi awal BRKGA dengan *individualinsertion* dan BRKGA standar sama-sama menunjukkan penurunan biaya distribusi yang signifikan, akan tetapi pada iterasi ke-100 hingga

iterasi ke-300 BRKGA dengan *individualinsertion* sudah menunjukkan keunggulannya dibandingkan dengan BRKGA standar. Pada iterasi ke-1895 BRKGA standar sudah menuju konvergen. Pada saat yang sama, BRKGA dengan *individualinsertion* masih menunjukkan penurunan biaya distribusi secara signifikan pada iterasi tersebut. BRKGA dengan *individualinsertion* masih menunjukkan sedikit penurunan pada iterasi ke-4900, hal tersebut tidak berpengaruh terhadap hasil dari biaya distribusi secara signifikan karena pada iterasi tersebut BRKGA dengan *individualinsertions* sudah menunjukkan konvergen.

Modifikasi *gender selection* pada BRKGA yang dilakukan dengan *K-means Clustering* pada MATLAB menghasilkan rata-rata biaya distribusi sebesar Rp167.550,00 sedangkan untuk percobaan *K-means Clustering* dengan mutasi menghasilkan Rp167.868,00. Pada BRKGA dengan pengelompokan gender berdasarkan urutan ganjil-genap, diperoleh rata-rata sebesar Rp157.967,00. BRKGA dengan pengelompokan gender berdasarkan urutan ganjil-genap menunjukkan hasil yang lebih baik dibandingkan hasil dari pengelompokan gender berdasarkan *K-Means Clustering* maupun *K-Means Clustering* dengan mutasi. Hasil dari ketiga modifikasi gender tersebut merupakan rata-rata dari pengambilan 50 sampel dengan 1000 iterasi.

Pada Gambar 9 menunjukkan hasil dari program *Gender Selection* BRKGA dengan beberapa cara pengelompok gender. Program *Gender Selection* BRKGA dijalankan dengan iterasi 7000 dan menggunakan pengaturan parameter terbaik dari BRKGA standar. *Gender selection* yang dilakukan dengan *K-Means Clustering* menunjukkan konvergen pada iterasi ke-3084 dengan biaya distribusi minimum sebesar Rp160.834,00. Pada modifikasi *K-Means Clustering* dengan mutasi, grafik pada Gambar 9 menunjukkan hasil biaya distribusi menuju konvergen pada iterasi ke-3640 dengan biaya distribusi sebesar Rp157.633,00. Hasil tersebut menunjukkan bahwa modifikasi *K-Means Clustering* dengan mutasi lebih baik daripada hasil modifikasi yang hanya menggunakan *K-Means Clustering*. Modifikasi *K-Means Clustering* dengan mutasi masih menunjukkan penurunan biaya distribusi pada iterasi ke-3084 dimana disaat yang bersamaan modifikasi *K-Means Clustering* sudah menunjukkan konvergen. Penggunaan mutasi dalam jumlah besar ( $P - p_e$ ) pada iterasi tertentu ternyata berpengaruh terhadap hasil dari program *Gender Selection* BRKGA dengan modifikasi *K-Means Clustering*. Pada grafik *K-Means Clustering*, biaya distribusi menunjukkan konvergen terlalu cepat sehingga solusi yang dihasil belum merupakan solusi yang optimal. Hal tersebut dikarenakan solusi yang dihasilkan cenderung mengalami keseragaman populasi yang berpengaruh terhadap proses *clustering* pada program *Gender Selection* BRKGA dengan modifikasi *K-Means Clustering*.

Pada modifikasi dengan pengelompokan ganjil-genap, grafik mulai menunjukkan konvergen di iterasi ke-2000 dengan biaya distribusi sebesar Rp152.338,00. Hasil tersebut menunjukkan bahwa *Gender Selection* BRKGA dengan pengelompokan ganjil-genap lebih baik dari modifikasi *K-Means Clustering* maupun *K-Means Clustering* dengan mutasi. Pada iterasi ke-400 hingga iterasi ke-800, modifikasi dengan pengelompokan ganjil-genap mengalami penurunan biaya distribusi yang lebih signifikan apabila dibandingkan dengan *K-Means Clustering* maupun *K-Means Clustering* dengan mutasi yang pada iterasi yang sama sudah tidak mengalami penurunan biaya distribusi secara signifikan. Berdasarkan hasil dari ketiga modifikasi gender tersebut, modifikasi *K-Means Clustering* menghasilnya solusi yang paling tidak optimal dibandingkan dengan kedua modifikasi gender lainnya dan modifikasi dengan pengelompokan ganjil-genap menghasilkan solusi yang paling optimal dari ketiganya.



Gambar 9. Gender Selection BRKGA dan BRKGA standar

Dari hasil yang ada, juga menunjukkan bahwa penggunaan modifikasi *gender selection* pada penelitian ini kurang efektif atau tidak menghasilkan solusi yang lebih baik daripada BRKGA standar. Hal tersebut sejalan dengan penelitian Lucena *et al* (2014) yang telah dilakukan sebelumnya bahwa penggunaan modifikasi *gender selection* tidak lebih baik dari BRKGA standar. Hal tersebut kemungkinan besar disebabkan karena BRKGA sudah menerapkan proses *clustering* atau pengelompokan kromosom menjadi kromosom elit dan *non*-elit. Pengelompokan gender justru membuat proses *clustering* berdasarkan elit dan *non*-elit menjadi rusak sehingga berdampak pada hasil *crossover* yang dilakukan.

Tabel 3. Hasil percobaan program BRKGA standar dan modifikasi

Metode (a)	Rata-rata biaya distribusi (50 sampel, 1000 iterasi) (Rp) (b)	Biaya minimum (7000 iterasi) (Rp) (c)	Titik konvergen (iterasi ke-) (d)	Gap (Rp) (e)
BRKGA standar	155.767,00	151.177,00	3465	(0)
BRKGA dengan individual insertion	154.671,00	143.481,00	4906	7696
Gender Selection BRKGA ( <i>K</i> - meanClustering)	167.550,00	160.834,00	4320	(9657)
Gender Selection BRKGA ( <i>K</i> -mean Clustering + mutasi)	167.868,00	157.633,00	3640	(6456)
Gender Selection BRKGA (urutan ganjil-genap)	157.967,00	152.338,00	5274	(1161)

( ) : menunjukkan tidak ada efisiensi biaya distribusi terhadap hasil BRKGA standar

Tabel 3 merupakan rekapitulasi dari hasil BRKGA standar dan modifikasi. Pada kolom (a) merupakan metode yang digunakan pada penelitian ini dan modifikasi yang dilakukan. (b) merupakan hasil rata-rata biaya distribusi dari setiap metode yang digunakan, dimana dilakukan



pengambilan sampel sebanyak 50 kali dengan *running* program 1000 iterasi. Metode BRKGA *individualinsertion* menghasilkan biaya rata-rata paling rendah apabila dibandingkan dengan keempat metode lainnya termasuk BRKGA standar. Pada metode *Gender Selection* BRKGA dengan *K-Means Clustering* dan *Gender Selection* BRKGA *K-Means Clustering* dengan mutasi menghasilkan rata-rata biaya distribusi yang tidak jauh berbeda. Pada *Gender Selection* BRKGA dengan pengelompokan ganjil-genap menghasilkan rata-rata yang lebih baik dari kedua modifikasi gender lainnya.

Kolom (c) pada Tabel 3 merupakan hasil biaya distribusi minimum yang diperoleh dari *running* program BRKGA dengan 7000 iterasi. BRKGA dengan *individualinsertion* menghasilkan biaya distribusi paling minimum dibandingkan dengan keempat metode lainnya dan membuktikan bahwa *individualinsertion* dapat memperbaiki program BRKGA yang standar. Pada kolom (e) diperkuat dengan adanya *gap* atau efisiensi sebesar Rp7696,00. Selanjutnya, BRKGA dengan *individual insertion* ini akan diimplementasikan pada penelitian Sembiring (2008).

Implementasi program BRKGA *individual insertion* pada penelitian Sembiring (2008) untuk menyelesaikan kasus CVRPTW di sebuah perusahaan minuman bersoda menghasilkan alternatif solusi seperti pada Tabel 4. Metode Heuristik yang digunakan pada penelitian Sembiring (2008), menghasilkan urutan sub rute seperti pada kolom (a) Tabel 4. Sub rute yang terbentuk dihasilkan berdasarkan kendala kapasitas dan waktu pengiriman. Pada kolom (b) Tabel 4, sub rute yang terbentuk dengan metode Heuristik memenuhi kendala kapasitas yaitu tidak melebihi kapasitas kendaraan (130 krat), akan tetapi kendala waktu pengiriman tidak terpenuhi. Hal tersebut dapat dilihat pada kolom (c) yang merupakan waktu pengiriman dari hasil sub rute yang ada. Pada sub rute 6 menunjukkan bahwa waktu pengiriman melebihi kendala waktu yang ada (480 menit). Hasil sub rute tersebut menjadi tidak relevan apabila diterapkan secara nyata pada perusahaan. Berbeda dengan hasil dari BRKGA *Insertion*, sub rute yang terbentuk dapat memenuhi kendala kapasitas dan kendala waktu pengiriman. Permintaan dari semua sub rute yang terbentuk tidak melebihi kapasitas kendaraan yang ada. Begitu pula dengan waktu total dari masing-masing sub rute yang tidak melebihi batas waktu pengiriman.

Tabel 4. Hasil metode heuristik dan metode BRKGA *individual insertion*

Metode Heuristik (a)	Permintaan (Krat) (b)	Waktu total Sub rute (menit) (c)	BRKGA Insertion (d)	Permintaan (Krat) (e)	Waktu total Sub rute (menit) (d)
D-8-3-2-4-5-1-D	125	259,7	D-5-35-26-29-15-17-20-28-D	128	328,5
D-6-12-11-9-7-10-D	126	231,8	D-6-3-24-22-23-25-21-38-D	125	325,7
D-14-16-15-17-18-13-19-21-D	128	404,0	D-14-41-19-42-33-40-D	114	297,7
D-39-20-22-23-25-38-26-28-D	129	444,3	D-36-31-10-16-18-9-30-D	122	295,8
D-32-33-35-34-30-31-29-D	129	450,7	D-4-8-7-27-32-37-34-D	129	319,3
D-41-42-40-37-36-44-24-D	130	495,9	D-11-39-1-2-12-43-D	130	286,9
D-27-43-45-D	41	148,2	D-44-45-13-D	60	175,1

Metode Heuristik yang digunakan pada penelitian Sembiring (2008), menghasilkan biaya distribusi sebesar Rp236.500,00. Apabila dibandingkan dengan hasil pada penelitian ini, BRKGA

dengan *individual insertion* lebih efektif dalam menyelesaikan kasus CVRPTW dibandingkan Metode Heuristik. Hal ini dibuktikan dengan hasil dari BRKGA dengan *individual insertion* sebesar Rp143.600,00 yang menghemat biaya distribusi sebesar Rp.92.000,00.

#### 4. PENUTUP

Penelitian ini telah menghasilkan rancangan berupa program BRKGA *individual insertion* dan *Gender Selection* BRKGA yang dirancang menggunakan bahasa pemrograman MATLAB untuk menyelesaikan kasus CVRPTW pada penelitian Sembiring (2008). Berdasarkan parameter *setting* yang terbaik, BRKGA dengan *individual insertion* dapat memperbaiki BRKGA standar. Modifikasi gender telah dilakukan dengan 3 cara pengelompokan yaitu *K-Means Clustering*, *K-Means Clustering* dengan mutasi dan pengelompokan gender berdasarkan urutan ganjil-genap. Mekanisme pengelompokan gender berdasarkan urutan ganjil-genap menghasilkan solusi yang lebih dari pada modifikasi gender dengan mekanisme lainnya. Modifikasi gender dengan *K-means Clustering* dan *K-means Clustering* dengan mutasi tidak menunjukkan hasil optimal. Pada penelitian ini juga diketahui bahwa perbaikan dengan modifikasi *Gender Selection* tidak menghasilkan rata-rata biaya distribusi yang lebih baik dari BRKGA standar. BRKGA dengan *individual insertion* yang diterapkan pada penelitian Sembiring (2008), dapat menghasilkan solusi yang lebih optimal dibandingkan dengan metode Heuristik. Dilihat dari sudut pandang biaya distribusi, rancangan program BRKGA dengan *individual insertion* mampu menghemat biaya distribusi sebesar 39% dari hasil Metode Heuristik yang digunakan dalam penelitian Sembiring (2008).

Pada penelitian ini, ada beberapa hal yang belum dilakukan. Misalnya, penelitian ini menggunakan data permintaan yang sifatnya konstan atau diketahui sebelumnya. Pada kasus dengan data permintaan bersifat probabilistik perlu dilakukan atau dikembangkan pada penelitian-penelitian berikutnya.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Alam, M. Z. (2013). *Menggunakan Modifikasi Algoritma Artificial Bee Colony*. Skripsi. Universitas Syarif Hidayatullah Jakarta.
- Arunanto, F. X., & Hintono, A. (2011). Aplikasi Paralel Branch And Bound Untuk Menyelesaikan Vehicle Routing Problem Menggunakan Pustaka MPICH Dan GLPK. *JUTI*, pp.1–7.
- Bean, J. C. (1994). Genetic Algorithms and Random Keys for Sequencing and Optimization. *ORSA journal on computing*, vol. 6, pp.154-160.
- Cahyaningsih, W. K., Sari, E. R., & Hernawati, K. (2015). Penyelesaian Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP) Menggunakan Algoritma Sweep Untuk Optimasi Rute Distribusi Surat Kabar Kedaulatan Rakyat. *Seminar Nasional Matematika dan Pendidikan Matematika UNY*, pp.1–8.
- Ericsson, M., & Pardalos, P. M. (2001). A Genetic Algorithm For The Weight Setting. *Journal of combinatorial optimization*, vol.6, pp.299-333.
- El Fahmi, F., & Faiz, E. (2013). Studi Komparasi Penyelesaian Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP) dengan Metode Saving Matrix dan Generalized Assignment. *Jurnal*

*Mahasiswa Matematika*, 1(4), pp-276.

- Goncalves, J. F., & Almeida, J. R. De. (2002). A Hybrid Genetic Algorithm for Assembly Line Balancing. *Journal of Heuristics*, 8, pp.629–642.
- Gonçalves, J. F., & Resende, M. G. C. (2011). Biased random-key genetic algorithms for combinatorial optimization. *Journal of Heuristics*, 17(5), pp.487–525.
- Grasas, A., Ramalhinho, H., Pessoa, L. S., Resende, M. G. C., Caballé, I., & Barba, N. (2014). On the improvement of blood sample collection at clinical laboratories. *BMC health services research*, vol.14. pp. 12.
- Hutasoit, C. S., Susanty, S., & Imran, A. (2014). Penentuan Rute Distribusi Es Balok Menggunakan Algoritma Nearest Neighbour dan Local Search. *REKA Integra*, vol.2, pp.268–276.
- Lucena, M. L., Andrade, C. E., Resende, M. G. C., & Miyazawa, F. K. (2014). Some extensions of biased random-key genetic algorithms. *Simposio Brasileiro de Pesquisa Operacional XLVI*.
- Lukitasary, W., Suyanto, & Dayawati, R. N. (2011). *Capacitated Vehicle Routing Problem Time Windows (CVRPTW) Dengan Menggunakan Algoritma Improved Ant Colony System (IACS) dan Algoritma Simulated Annealing(SA)*. Tugas Akhir, Universitas Telkom
- Luthfi, M., & Isa, M. (2015). Algoritma Genetika Ganda untuk Capacitated Vehicle Routing Problem. *Jurnal Sains Dan Seni ITS*, 4(2), pp.2–7.
- Lydia, P. R., Suyanto, & Dayawati, R. N. (2011). *Capacitated Vehicle Routing Problem Time Windows (CVRPTW) Menggunakan Algoritma Harmony Search*. Tugas Akhir, Universitas Telkom.
- Maryati, I., & Wibowo, H. K. (2012). Optimasi Penentuan Rute Kendaraan Pada Sistem Distribusi Barang Dengan Ant Colony Optimization. *Semantik 2012*, pp.163–168.
- Mukhsinin, A. L. I., Imran, A., & Susanty, S. (2013). Penentuan Rute Distribusi CV . IFFA Menggunakan Metode Nearest Neighbour dan Local Search. *REKA Integra*, vol.1, pp.129–138.
- Prasetyo, H., Fauza, G., Amer, Y., & Lee, S. H. (2015). Survey on Applications of BiasedRandom Key Genetic Algorithms for Solving Optimization Problems 1. *IEEE International Conference*, pp.863–870.
- Putri, F. B., Mahmudy, W. F., Ratnawati, D. E. (2015). Penerapan Algoritma Genetika Untuk Vehicle Routing Problem with Time Window (VRPTW) Pada Kasus Optimasi Distribusi Beras Bersubsidi, *Repositiry Jurnal Mahasiswa PTIIK Universitas Brawijaya*, (1), pp.1–9.
- Sembiring, A. C. (2008). *Penentuan Rute Distribusi Produk Yang Optimal dengan Menggunakan Algoritma Heuristik Pada PT. Coca-cola Bottling Indonesia Medan*. Tugas Akhir, Universitas Sumatra Utara.